

斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马 若虫的捕食功能反应*

禹云超** 鄧军锐*** 曾 广 岳文波 叶 茂

(贵州大学昆虫研究所, 贵州省山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025)

摘 要 【目的】为明确斯氏钝绥螨 *Amblyseius swirskii* 对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 和豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus* 不同龄期若虫的捕食量及控制潜能。【方法】在 25℃ 和 75% 相对湿度下, 研究了斯氏钝绥螨雌成螨对两种蓟马 1 龄和 2 龄若虫的捕食喜好性、功能反应以及捕食螨自身的干扰反应。【结果】斯氏钝绥螨无论对西花蓟马还是豆大蓟马, 在各自 1 龄和 2 龄若虫共存状况下, 对 1 龄若虫的喜好性均显著高于 2 龄。捕食螨对两种蓟马 1 龄若虫的捕食量和喜好性无显著差异, 但对西花蓟马 2 龄若虫的捕食量和喜好性显著大于豆大蓟马 2 龄若虫。斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马和豆大蓟马的 1 龄若虫和 2 龄若虫的捕食功能反应均符合 Holling II 型方程。捕食螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄若虫的日均捕食量均随其自身密度的增加而逐渐降低。【结论】斯氏钝绥螨的捕食量与蓟马的种类和龄期有关, 也与捕食螨的密度有关。

关键词 斯氏钝绥螨; 西花蓟马; 豆大蓟马; 功能反应; 捕食喜好性; 干扰作用

The functional predatory response of *Amblyseius swirskii* to *Frankliniella occidentalis* and *Megalurothrips usitatus* nymphs

YU Yun-Chao** ZHI Jun-Rui*** ZENG Guang YUE Wen-Bo YE Mao

(Institute of Entomology, Guizhou University, The Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region, Guiyang 550025, China)

Abstract [Objectives] To investigate the potential of *Amblyseius swirskii* to act as a biological control for nymphs of the thrips *Frankliniella occidentalis* and *Megalurothrips usitatus*. [Methods] The prey preferences and functional and interference responses of *A. swirskii* to nymphs of *F. occidentalis* and *M. usitatus* were measured at 25°C and 75% RH under laboratory conditions. [Results] *A. swirskii* preferred 1st instar nymphs of both *F. occidentalis* or *M. usitatus* to 2nd instar nymphs of these species, and there was no difference in its predatory capacity, or preference, for 1st instar nymphs of either species. However, *A. swirskii* preferred 2nd instar nymphs of *F. occidentalis* to those of *M. usitatus*. The functional response was a good fit to the Holling II equation. The predation rate of *A. swirskii* on 1st instar nymphs decreased with predator density. [Conclusion] The predatory capacity of *A. swirskii* was affected by the species and developmental stage of its prey and predator density.

Key words *Amblyseius swirskii*; *Frankliniella occidentalis*; *Megalurothrips usitatus*; functional response; predation preference; interference response

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Bagrall) 皆为缨翅目 (Thysanoptera) 的重要害虫。西花蓟马属于花蓟马属, 寄主植物达 500 和豆大蓟马 (普通大蓟马) *Megalurothrips usitatus*

*资助项目 Supported projects :贵州省农业攻关项目(黔科合 NY[2015]3014-1 号);贵州省国际科技合作基地(黔科合平台人才【2016】5802)

**第一作者 First author, E-mail: yyc807549656@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhijunrui@126.com

收稿日期 Received: 2018-12-18; 接受日期 Accepted: 2019-03-22

余种 (Moritz, 2002), 于 19 世纪末在美国首次记录, 此后迅速扩张, 目前在全球多个国家和地区都有分布 (Krik and Terry, 2003), 我国于 2003 年 6 月在北京市郊发现其发生危害 (张友军等, 2003)。豆大蓟马属大蓟马属, 寄主植物有 28 种, 其中豆科植物 16 种 (Mound and Walker, 1987)。2010 年, 由于使用高毒农药防治豆大蓟马引起的“海南毒豇豆”事件轰动全国 (卢维海等, 2010), 随后对豆大蓟马的研究受到学者的高度重视。西花蓟马和豆大蓟马通过取食和产卵对农作物造成危害, 同时作为病毒的媒介, 可传播多种植物病毒 (Morse and Hoddle, 2006; Rao et al., 2015)。两种蓟马卵产于植物组织内部, 若虫和成虫通常在花苞内等隐蔽地方觅食, 以及易产生抗药性等特点, 导致防治极其困难 (邱海燕等, 2014; Ding et al., 2018)。

生物防治一直是防治害虫最环保和经济的方式之一 (Cock et al., 2010)。目前, 用于生物防治的天敌种类较多, 其中捕食螨在蓟马防治中的应用非常广泛, 尤其是植绥螨科 Phytoseiidae 钝绥螨属 *Amblyseius* 的几种重要捕食螨。斯氏钝绥螨 *A. swirskii* (Athias-Henriot) 因具有捕食效率高、易于人工饲养等优点, 已在 50 多个国家应用, 并成为最成功的生防天敌之一 (Messelink et al., 2006; Pijnakker and Ramakers, 2008; Knapp et al., 2013; Calvo et al., 2015)。

近年来, 我国学者就斯氏钝绥螨对不同害虫的控制能力进行了研究。例如, 王利平等 (2011) 研究发现斯氏钝绥螨对朱砂叶螨若螨具有较强的捕食能力; 杨海林等 (2015) 发现斯氏钝绥螨对烟草上的烟蓟马具有显著的控制作用; 郑亚强等 (2017) 发现斯氏钝绥螨对腐食酪螨具有良好的捕食作用, 且其雌成螨对若螨具有较强的喜好性; 余清等 (2017) 研究发现斯氏钝绥螨对烟粉虱种群具有良好的控制作用, 且防治效果略高于胡瓜钝绥螨; 罗春萍等 (2018) 发现斯氏钝绥螨对西花蓟马具有较强捕食能力。此外, 李扬 (2018) 和田宇 (2018) 对斯氏钝绥螨和巴氏新小绥螨、黄瓜新小绥螨的集团内捕食和联合释放分别进行了研究, 结果发现在猎物充足条件下,

斯氏钝绥螨均与它种捕食螨之间的集团内捕食作用 (IGP) 较弱, 可作为联合防控西花蓟马和豆大蓟马若虫的喜好性以及斯氏钝绥螨对豆大蓟马捕食功能的研究, 国内外还尚未报道。本文对斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马和豆大蓟马不同龄期若虫的捕食功能反应和干扰反应, 以及斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄和 2 龄若虫的喜好性进行了研究, 以期在西花蓟马和豆大蓟马的生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

斯氏钝绥螨由福州冠农生物科技有限公司提供。在直径 9 cm 的培养皿里放入直径约为 7.5 cm 的吸水海绵, 上铺一层直径为 8 cm 的黑色油光纸, 四周用浸过水的脱脂棉包围以防螨外逃或内迁。将斯氏钝绥螨置于油光纸上, 在温度 (25 ± 1)、RH $75\% \pm 5\%$ 人工气候箱内, 以椭圆食粉螨饲养, 繁殖 1-2 代后备用。

西花蓟马和豆大蓟马采集于贵州省贵阳市花溪区蔬菜基地的菜豆叶片和花上, 两种蓟马均在 RXZ-430c 型智能人工气候箱 (饲养条件同上) 内的养虫盒中用新鲜菜豆 *Phaseolus vulgaris* 豆荚长期单独继代饲养。

1.2 试验装置

功能反应试验台: 在直径 9 cm 的培养皿里放入直径约为 5 cm 的吸水海绵, 培养皿中加适量蒸馏水, 使海绵充分吸水。海绵上铺一层直径 5 cm 的黑色棉布, 上方再铺一层略小的薄膜, 薄膜上方放置一干净菜豆叶片, 叶片四周用浸过水的脱脂棉包围以防螨和蓟马外逃或内迁。

豆大蓟马 2 龄若虫功能反应试验台: 在直径为 6 cm 的培养皿内倒入事先配好的琼脂 (琼脂粉 水=15 g 1 L)。待琼脂冷却凝固后, 其上方放一直径约为 5 cm 的菜豆叶碟, 使叶碟和琼脂充分接触, 避免若虫钻入缝隙。试验期间接入若虫和捕食螨后, 立即用保鲜膜封口以防螨和蓟

马外逃或内迁,随后使用 1 号昆虫针在封口膜上穿刺,以保持空气流通。

1.3 试验方法

1.3.1 斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马和豆大蓟马若虫的捕食喜好性 捕食喜好性试验设置 4 个处理:西花蓟马的 1 龄和 2 龄若虫;豆大蓟马的 1 龄和 2 龄若虫;西花蓟马 1 龄若虫和豆大蓟马 1 龄若虫;西花蓟马 2 龄若虫和豆大蓟马 2 龄若虫。

按照上述 4 个处理,将若虫按 1:1 的比例接入试验台,每种若虫均为 30 头。随后接入经饥饿处理 24 h 的斯氏钝绥螨雌成螨 1 头,置于人工气候箱中,24 h 之后将捕食螨挑出,观察记录不同蓟马若虫的被捕食数量。每个处理设置 5 次重复。捕食螨对害虫喜好性高低用选择系数 Q 表示(李瑞娟等,2005):

$$Q = \frac{\text{某虫态被食数占总食数的百分比}}{\text{某虫态数占猎物总数的百分比}} \times 100\%$$

其中 $Q > 1$ 表示捕食螨对该虫态猎物喜好; $Q < 1$ 表示捕食螨对该虫态猎物不喜好; $Q = 1$ 表示捕食螨对猎物随机捕食。

1.3.2 斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马和豆大蓟马若虫的捕食功能反应 每个试验台中接入 1 头经饥饿处理 24 h 的斯氏钝绥螨雌成螨,分别以西花蓟马 1 龄若虫、西花蓟马 2 龄若虫、豆大蓟马 1 龄若虫、豆大蓟马 2 龄若虫为猎物。1 龄若虫的猎物密度设置为 5、10、15、20、25 和 30 头 6 个处理,2 龄若虫的猎物密度设置为 3、6、9、12 和 15 头 5 个处理,置于人工气候箱中饲养(条件参数同 1.3.1),24 h 后观察猎物被捕食的量,每个密度处理设置 5 次重复。试验数据用 Holling 圆盘方程 $N_a = aTN / (1 + aT_h N)$ 拟合(吴坤君等,2004),式中: N_a 为猎物被捕食数量, a 为瞬间攻击系数, T 为试验总时间(本试验中 T 为 1 d), N 为猎物的初始密度, T_h 为处理时间。用 a/T_h 值来评价斯氏钝绥螨的捕食能力。

1.3.3 斯氏钝绥螨雌成螨的自身干扰反应 每个试验台中接入西花蓟马 1 龄或豆大蓟马 1 龄若虫 30 头,随后分别接入 1、2、3、4 和 5 头经饥

饿处理 24 h 的斯氏钝绥螨雌成螨,置于人工气候箱中饲养(条件参数同 1.3.1)。共设置 5 个处理,每个处理重复 5 次,24 h 后观察猎物被捕食的量。试验数据使用 Watt 的干扰与竞争模型拟合(吴坤君等,2004), $A = aX^{-b}$ 式中: A 为被捕食猎物的数量, a 为无竞争情况下的攻击率, X 为斯氏钝绥螨密度, b 为种内竞争参数。

1.4 数据分析

采用 SPSS 21.0 软件进行数据分析,对功能反应模型进行拟合和相关性分析,使用单因素方差分析(ANOVA),Duncan's 多重比较分析处理间的差异显著性;通过 t -检验分析两个处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄和 2 龄若虫的捕食喜好性

斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量显著高于 2 龄若虫($P < 0.05$),且对于 1 龄若虫的选择系数大于 1,表现出较强的喜好性。斯氏钝绥螨对豆大蓟马 1 龄和 2 龄若虫的喜好性与西花蓟马相似(表 1)。

在西花蓟马 1 龄若虫和豆大蓟马 1 龄若虫共存情况下,捕食螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量稍大,但差异不显著($P > 0.05$)。对于两种蓟马的 2 龄若虫,捕食螨对西花蓟马 2 龄若虫表现出较强的喜好且显著高于豆大蓟马 2 龄若虫($P < 0.05$)(表 2)。

2.2 斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄和 2 龄若虫的捕食功能反应

由表 3 可知,斯氏钝绥螨对两种蓟马的 1 龄和 2 龄若虫的捕食量均随猎物密度的增大而增大。

根据 Holling 型方程,计算得到斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马若虫的功能反应方程及各个参数见表 4。通过比较功能反应中的各个参数可知,斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄若虫的各个参数都要优于 2 龄若虫;斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的瞬间攻击系数、捕食能

表 1 斯氏钝绥螨对西花蓟马或豆大蓟马 1 龄和 2 龄若虫的捕食喜好性
Table 1 Predation preference of *Amblyseius swirskii* on the 1st and 2nd instar nymph of *Frankliniella occidentalis* or *Megalurothrips usitatus*

蓟马 Thrips	虫态 Stage	日均被捕食数 (头) Preyed number per day	被捕食比例 (%) Ratio preyed	选择系数 Q Selection coefficient
西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	1 龄 1st instar	4.40 ± 0.40*	14.67 ± 1.33*	1.25 ± 0.07*
	2 龄 2nd instar	2.60 ± 0.24	8.67 ± 0.82	0.75 ± 0.07
豆大蓟马 <i>M. usitatus</i>	1 龄 1st instar	4.40 ± 0.24*	14.67 ± 0.01*	1.48 ± 0.05*
	2 龄 2nd instar	1.60 ± 0.24	5.33 ± 0.01	0.52 ± 0.05

表中数据为平均数±标准误；*表示斯氏钝绥螨对同一种蓟马不同虫龄间的捕食量在 $P<0.05$ 水平差异显著 (t -检验)。表 2 同。

Data in the table are mean±SE. * indicates significant difference of the predatory capacity between different stages of the same thrip at 0.05 level (t -test). The same as table 2.

表 2 斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄或 2 龄若虫的捕食喜好性
Table 2 Predation preference of *Amblyseius swirskii* on the 1st or 2nd instar nymph of *Megalurothrips usitatus* and *Frankliniella occidentalis*

虫态 Stage	蓟马 Thrips	日均被捕食数 (头) Preyed number per day	被捕食比例 (%) Ratio preyed	选择系数 Q Selection coefficient
1 龄 1st instar	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	4.60 ± 0.24	15.33 ± 0.82	1.07 ± 0.05
	豆大蓟马 <i>M. usitatus</i>	4.00 ± 0.32	13.33 ± 1.05	0.93 ± 0.05
2 龄 2nd instar	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	2.40 ± 0.24*	8.00 ± 0.82*	1.33 ± 0.09*
	豆大蓟马 <i>M. usitatus</i>	1.20 ± 0.20	4.00 ± 0.67	0.67 ± 0.09

表 3 斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄和 2 龄若虫的日均捕食量
Table 3 Mean number of the 1st and 2nd instar nymphs of *Megalurothrips usitatus* and *Frankliniella occidentalis* consumed daily by *Amblyseius swirskii*

虫态 Stage	蓟马 Thrips	蓟马密度 Thrips density					
		5	10	15	20	25	30
1 龄 1st instar	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	2.80 ± 0.37 d	4.40 ± 0.24 c	5.20 ± 0.37 bc	5.80 ± 0.37 b	7.20 ± 0.37 a	7.80 ± 0.20 a
	豆大蓟马 <i>M. usitatus</i>	2.60 ± 0.24 d	4.20 ± 0.37 c	5.00 ± 0.32 bc	5.60 ± 0.24 b	6.80 ± 0.37 a	7.40 ± 0.24 a
2 龄 2nd instar	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	0.60 ± 0.24 c	1.00 ± 0.32 bc	1.60 ± 0.24 ab	1.80 ± 0.37 ab	2.20 ± 0.20 a	
	豆大蓟马 <i>M. usitatus</i>	0.60 ± 0.24 c	0.80 ± 0.20 bc	1.40 ± 0.24 ab	1.60 ± 0.24 a	2.00 ± 0.32 a	

表中数据为平均数±标准误；同一行数据后标有不同小写字母表示斯氏钝绥螨对同一虫龄不同密度下蓟马的捕食量在 $P<0.05$ 水平差异显著 (Duncan's 多重比较)。表 5 同。

Data in the table are mean±SE, and followed by the different lowercase letters in the same row indicate the predatory capacity of *A. swirskii* on thrips of different densities of the same stage are significant difference at 0.05 level (Duncan's multiple comparisons). The same as table 5.

表 4 斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马的捕食作用

Table 4 Functional response of *Amblyseius swirskii* to *Megalurothrips usitatus* and *Frankliniella occidentalis*

蓟马 Thrips	猎物 Prey	瞬间攻击 系数 a Instant attack rate	处理时间 T_h (d) Handling time	捕食能力 a/T_h Predation capacity	最大日捕食量 $1/T_h$ Daily maximum predation number	Holling 圆盘方程 Holling disc equation $N_a =$	R^2
西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	1 龄 1st instar	0.752 4	0.094 2	7.987 7	10.615 7	0.752 4N/(1+0.070 9N)	0.988 2
	2 龄 2nd instar	0.219 1	0.165 6	1.323 1	6.038 6	0.219 1N/(1+0.036 3N)	0.991 4
豆大蓟马 <i>M. usitatus</i>	1 龄 1st instar	0.687 5	0.095 1	7.229 5	10.515 2	0.687 5N/(1+0.065 4N)	0.992 9
	2 龄 2nd instar	0.228 4	0.284 9	0.801 8	3.510 0	0.228 4N/(1+0.065 1N)	0.926 4

表 5 不同密度下的斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄若虫的日均捕食量

Table 5 Mean number of the 1st instar nymph of *Megalurothrips usitatus* and *Frankliniella occidentalis* were consumed daily by different densities of *Amblyseius swirskii*

蓟马 Thrips	捕食者密度 Predator density				
	1	2	3	4	5
西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	7.80 ± 0.37 a	7.40 ± 0.19 ab	6.87 ± 0.17 b	6.15 ± 0.13 c	5.52 ± 0.10 c
豆大蓟马 <i>M. usitatus</i>	7.40 ± 0.24 a	7.30 ± 0.25 ab	6.73 ± 0.19 b	5.95 ± 0.15 c	5.48 ± 0.08 c

力以及最大日捕食量大于豆大蓟马的 1 龄若虫,且处理时间较短;斯氏钝绥螨对西花蓟马 2 龄若虫的瞬间攻击系数小于豆大蓟马,但处理时间较短,同时对西花蓟马的捕食能力和最大日捕食量大于豆大蓟马。

2.3 斯氏钝绥螨雌成螨捕食西花蓟马和豆大蓟马的自身干扰反应

斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄若虫的平均捕食量随捕食螨密度的增加而降低(表 5)。根据 Watt 的干扰与竞争模型,斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马的自身干扰方程分别为: $A = 8.148\ 9X^{-0.205\ 1}$ ($r = 0.930\ 5^*$)和 $A = 7.794\ 5X^{-0.185\ 2}$ ($r = 0.900\ 2^*$)。

3 讨论

本研究结果表明,斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马 1 龄若虫均具有较强的捕食能力,且表现出明显的喜好性,而对两种蓟马 2 龄若虫的捕食能力均较差。与 2 龄若虫相比,1 龄若虫个体小,活动能力差,更易被捕食。Bakker 和 Sabelis (1989)研究表明,巴氏钝绥螨和胡瓜钝绥螨对烟蓟马 1 龄若虫的捕食成功率明显高于 2 龄若虫,主要原因是 2 龄若虫可以通过摆动腹部和产

生直肠液体来干扰捕食螨捕食,但当利用 CO₂ 将 2 龄若虫麻痹后,捕食螨对西花蓟马 2 龄若虫的捕食成功率比原来高 12 倍。

斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量大于豆大蓟马,但差异不显著,而对西花蓟马 2 龄若虫的捕食量显著高于豆大蓟马,推测可能与两种蓟马的活动能力强弱有关 (Reitz *et al.*, 2006)。在试验过程中发现,豆大蓟马 2 龄若虫活动能力强,极易爬至叶盘四周的棉花上。为保证试验的准确性,对涉及到豆大蓟马 2 龄若虫的试验台进行了改进。此外,捕食螨对两种蓟马的捕食喜好性的差异可能与蓟马的体色相关。两种蓟马 1 龄若虫的体色相似,均为乳白色,此时捕食螨对两种蓟马 1 龄若虫的捕食量和喜好性无显著差异,但两种蓟马 2 龄若虫的体色差异较大,西花蓟马为淡黄色,豆大蓟为橘红色,此时捕食螨对西花蓟马 2 龄若虫的捕食量和喜好性明显大于豆大蓟马的 2 龄若虫。另外,天敌对不同蓟马捕食量存在差异的原因也可能与蓟马自身营养价值的高低有关 (Wimmer *et al.*, 2008)。

功能反应是研究天敌对害虫捕食能力的重要方法和途径 (王国红和涂小云,2005)。其中,Holling 模型是捕食螨对猎物捕食功能反应最常见的形式 (Takafuji and Chant, 1976)。本研

究发现,斯氏钝绥螨对西花蓟马和豆大蓟马若虫的捕食功能反应均可用 Holling 模型拟合,这与 Shipp 和 Whitfield (1991)、张金平 (2008)、马鹤娟 (2014)、刘平 (2014) 等关于捕食螨对蓟马捕食作用研究的结果一致。此外,黄建华等 (2012) 发现巴氏钝绥螨对烟蓟马 1 龄若虫的捕食功能反应既符合 Holling 模型,又符合 Holling 模型。韩玉花 (2012) 研究发现,在足量的西花蓟马 1 龄若虫下,饥饿 24 h 的斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马的日均捕食量为 3.06 头,低于本试验不同猎物密度下捕食螨对西花蓟马 1 龄若虫的日均捕食量。罗春萍等 (2018) 研究发现当西花蓟马 1 龄若虫密度分别为 15、20 和 30 头时,斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马的捕食量分别为 6.4、7.8 和 8.5 头,均高于本实验结果。造成上述差异的原因可能与实验中使用的叶盘类型和试验的条件(温湿度、光照)等因素有关。

斯氏钝绥螨对西花蓟马或豆大蓟马的日均捕食量均随其自身密度的增加而逐渐降低,该结果与斯氏钝绥螨捕食朱砂叶螨(王利平等, 2011)、腐食酪螨(郑亚强等, 2017) 时受到种内干扰的结果一致,说明捕食螨随着自身密度的增加,种内竞争和干扰作用也随之增大。因此,在田间使用捕食螨进行生物防治时,应注意田间释放密度,以充分发挥捕食螨的控制作用。

需要指出的是,自然界中捕食螨对猎物的捕食能力受田间多种环境因素的影响。因此,有关温度、湿度、光周期等环境因素对斯氏钝绥螨捕食作用的影响还有待研究。此外,在利用引进天敌防治本土害虫时,应提前做好外来生物风险评估,判断外来天敌与本土天敌集团内捕食作用的强弱,确认是否会对本土天敌物种产生威胁,以及是否会导致本土天敌多样性降低等现象(万方浩等, 2000)。

参考文献 (References)

- Bakker FM, Sabelis MW, 1989. How larvae of *Thrips tabaci* reduce the attack success of phytoseiid predators. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 50(1): 47–51.
- Calvo FJ, Knapp M, Van Houten YM, Hoogerbrugge H, Belda JE, 2015. *Amblyseius swirskii*: What made this predatory mite such a

- successful biocontrol agent? *Experimental and Applied Acarology*, 65(4): 419–433.
- Cock MJW, Lenteren JCV, Brodeur J, Barratt BIP, Bigler F, Bolckmans K, Cònsoli FL, Haas F, Mason PG, Parra JRP, 2010. Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? *Biocontrol*, 55(2): 199–218.
- Ding T, Chi H, Gökçe A, Gao Y, Zhang B, 2018. Demographic analysis of arrhenotokous parthenogenesis and bisexual reproduction of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Scientific Reports*, 8: 3346.
- Han YH, 2012. The assessment of several species of phytoseiid mites fed on *Frankliniella occidentalis* and *Bemisia tabaci*. Master dissertation. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University. [韩玉花, 2012. 几种植绥螨对西花蓟马和烟粉虱捕食作用的评价. 硕士学位论文. 内蒙古: 内蒙古农业大学.]
- Huang JH, Luo RH, Qin WJ, Huang SJ, Qin HG, Fu ZF, 2012. Predation efficacy of *Amblyseius barkeri* on asparagus thrips, *Thrips tabaci*. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(3): 353–359. [黄建华, 罗任华, 秦文婧, 黄水金, 秦厚国, 付志飞, 2012. 巴氏钝绥螨对芦笋上烟蓟马捕食效能研究. 中国生物防治学报, 28(3): 353–359.]
- Kirk WDJ, Terry LI, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agricultural and Forest Entomology*, 5(4): 301–310.
- Knapp M, Van Houten Y, Hoogerbrugge H, Bolckmans K, 2013. *Amblydromalus limonicus* (Acari: Phytoseiidae) as a biocontrol agent: Literature review and new findings. *Acarologia*, 53(2): 191–202.
- Li RJ, Wang KY, Jiang XY, Yi MQ, 2005. Advances of research on resistance of *Tetranychus urticae* Koch. *Journal-Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 36(4): 637–639. [李瑞娟, 王开运, 姜兴印, 仪美芹, 2005. 二斑叶螨的抗药性研究进展. 山东农业大学学报(自然科学版), 36(4): 637–639.]
- Li Y, 2018. Intraguild predation and combine release in the Phytoseiid mites *Amblyseius swirskii* and *Neoseiulus barkeri*. Master dissertation. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University. [李杨, 2018. 斯氏钝绥螨与巴氏新小绥螨集团内捕食及联合释放评价. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学.]
- Liu P, 2014. Functional response of *Neoseiulus barkeri* and its protection and utilization. Master dissertation. Lanzhou: Gansu Agricultural University. [刘平, 2014. 巴氏新小绥螨的捕食功能反应及保护利用. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学.]
- Lu WH, Wei YJ, Tan DC, Zuo FH, 2010. Hainan polluted cowpea incident's lesson to Guangxi plant protection. *Journal of Guangxi Agriculture*, 25(2): 86–87. [卢维海, 韦莹军, 谭道朝, 左方华, 2010. 海南毒豇豆事件对广西植保的启示. 广西农学报, 25(2): 86–87.]
- Luo CP, Chen B, Li YF, Cao NN, Yang L, Yu Q, 2017. Study on the development and reproduction of *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) by feeding the different plant pollens. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition)*, 32(4): 594–599. [罗春萍, 陈斌, 李亦菲, 曹宁宁, 杨磊, 余清, 2017.

- 斯氏钝绥螨取食几种植物花粉后的生长发育和繁殖能力研究. 云南农业大学学报(自然科学版), 32(4): 594–599.]
- Luo CP, Hu HX, Sun JW, Fan QY, Zhao YX, Zhang LY, Du GZ, Chen B, 2018. Study on the functional response of the predatory mite *Amblyseius swirskii* on western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* as prey. *Journal of Biosafety*, 27(4): 274–278, 316. [罗春萍, 卢艳霞, 孙军伟, 樊清艳, 赵永鑫, 张凌英, 杜广祖, 陈斌, 2018. 斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食功能反应. 生物安全学报, 27(4): 274–278, 316.]
- Ma HJ, 2014. Study on the control efficiency of *Neoseiulus californicus* for *Frankliniella occidentalis*. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [马鹤娟, 2014. 加州新小绥螨对西花蓟马的控制作用初探. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Messelink GJ, Van Steenpaal SEF, Ramakers PMJ, 2006. Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *BioControl*, 51(6): 753–768.
- Moritz G, 2002. The biology of thrips is not the biology of their adults: A developmental view. Thrips and Tospoviruses. Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera. Canberra. 259–267.
- Morse JG, Hoddle MS, 2006. Invasion biology of thrips. *Annual Review of Entomology*, 51(1): 67–89.
- Mound LA, Walker AK, 1987. Thysanoptera as tropical tramps: New records from New Zealand and the Pacific. *New Zealand Entomologist*, 9(1): 70–85.
- Qiu HY, Liu K, Li P, Fu BL, Tang LD, Zhang ML, 2014. Biological characteristics of the bean flower thrips, *Megalurothrips usitatus* (Bagnali) (Thysanoptera: Thripidae). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 35(12): 2437–2441. [邱海燕, 刘奎, 李鹏, 付步礼, 唐良德, 张曼丽, 2014. 豆大蓟马的生物学特性研究. 热带作物学报, 35(12): 2437–2441.]
- Rao RDVJP, Reddy AS, Reddy SV, Thirumala DK, Rao SC, Kumar MV, Subramaniam K, Reddy TY, Nigam SN, Reddy DVR, 2003. The host range of *Tobacco streak virus* in India and transmission by thrips. *Annals of Applied Biology*, 142(3): 365–368.
- Reitz SR, Funderburk JE, Waring SM, 2006. Differential predation by the generalist predator *Orius insidiosus* on congeneric species of thrips that vary in size and behavior. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 119(3): 179–188.
- Shipp JL, Whitfield GH, 1991. Functional response of the predatory mite, *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae), on western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Environmental Entomology*, 20(2): 694–699.
- Takafuji A, Chant DA, 1976. Comparative studies of two species of predacious Phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae), with special reference to their responses to the density of their prey. *Researches on Population Ecology*, 17(2): 255–310.
- Tian Y, 2018. Intraguild predation and combine release effects in the Phytoseiid Mites *Amblyseius swirskii* and *Neoseiulus cucumeris*. Master dissertation. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University. [田宇, 2018. 外来种斯氏钝绥螨和黄瓜新小绥螨间的集团内捕食及联合防治效果评价. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学.]
- Wan FH, Ye ZC, Guo JY, Xie M, 2000. Advances and prospects of biological control research in China. *Chinese Bulletin of Entomology*, 37(2): 65–74. [万方浩, 叶正楚, 郭建英, 谢明, 2000. 我国生物防治研究的进展及展望. 昆虫知识, 37(2): 65–74.]
- Wang GH, Tu XY, 2005. Functional responses of *Pediobius foveolatus* to *Henosepilachna vigintioctopunctata*. *Chinese Journal of Ecology*, 24(7): 736–740. [王国红, 涂小云, 2005. 瓢虫柄腹姬小蜂对茄二十八星瓢虫功能反应的研究. 生态学杂志, 24(7): 736–740.]
- Wang LP, Wang YM, Du JP, Zhang GA, 2011. Predation of *Amblyseius swirskii* on *Tetranychus cinnabarinus* nymphs. *Chinese Journal of Biological Control*, 27(2): 171–175. [王利平, 王永模, 杜进平, 张国安, 2011. 斯氏钝绥螨对朱砂叶螨若螨的捕食作用. 中国生物防治学报, 27(2): 171–175.]
- Wimmer D, Hoffmann D, Schausberger P, 2008. Prey suitability of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, and onion thrips, *Thrips tabaci*, for the predatory mite *Amblyseius swirskii*. *Biocontrol Science and Technology*, 18(6): 533–542.
- Wu KJ, Shen CF, Gong PY, 2004. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(3): 267–269. [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜, 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算. 昆虫知识, 41(3): 267–269.]
- Yang HL, Yu Q, Gu XH, Shi MH, Zhang LM, 2015. Evaluation of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) as biological control agents of *Thrips tabaci* Lindeman on tobacco. *Journal of Environmental Entomology*, 37(5): 1037–1042. [杨海林, 余清, 谷星慧, 史明慧, 张立猛, 2015. 斯氏钝绥螨对烟蓟马的防治效果研究. 环境昆虫学报, 37(5): 1037–1042.]
- Yu Q, Luo CP, Chen B, Liu YJ, 2017. Study on the control efficacy of predatory mites of *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) and *Amblyseius swirskii* against the *Bemisia tabaci* on tobacco plant in greenhouse. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 32(1): 36–43. [余清, 罗春萍, 陈斌, 刘月静, 2017. 胡瓜钝绥螨和斯氏钝绥螨对温室烟草上烟粉虱的控制作用研究. 云南农业大学学报(自然科学), 32(1): 36–43.]
- Zhang JP, 2008. Investigation on phytoseiid mite in Beijing area and the control ability of *Neoseiulus barkeri* on *Frankliniella occidentalis*. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [张金平, 2008. 北京地区植绥螨调查及巴氏新小绥螨对西花蓟马控制能力研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Zhang YJ, Wu QJ, Xu BY, Zhu GR, 2003. The occurrence and damage of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae): A dangerous alien invasive pest in Beijing. *Plant Protection*, 29(4): 58–59. [张友军, 吴青君, 徐宝云, 朱国仁, 2003. 危险性外来入侵生物-西花蓟马在北京发生危害. 植物保护, 29(4): 58–59.]
- Zheng YQ, Chen YF, Yu Q, Mo XH, Du GZ, Luo CP, 2017. The predatory efficacy of *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) to *Tyrophagus putrescentiae*. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 32(2): 233–237. [郑亚强, 陈屹甫, 余清, 莫笑晗, 杜广祖, 罗春萍等, 2017. 斯氏钝绥螨对马铃薯上腐食酪螨的捕食效应研究. 云南农业大学学报(自然科学), 32(2): 233–237.]